

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

2002-096752

(43)Date of publication of application : 02.04.2002

(51)Int.Cl.

B62D 6/00

B62D 5/04

// B62D 3/12

G01L 3/10

G01L 5/22

B62D101:00

B62D119:00

B62D137:00

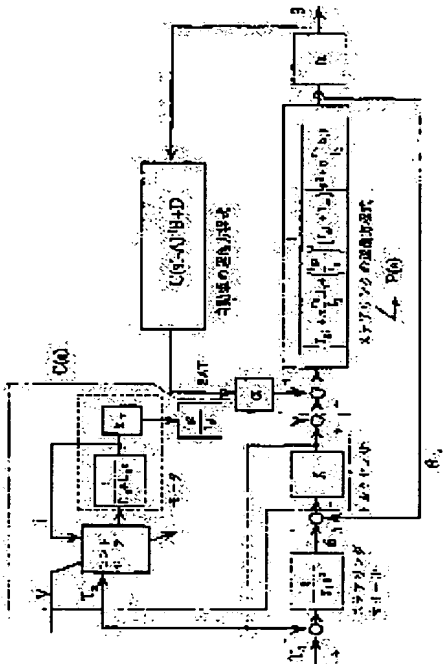
(21)Application number : 2000-290166

(71)Applicant : NSK LTD

(22)Date of filing : 25.09.2000

(72)Inventor : SHIBAZAKI KENICHI
ENDO SHUJI

(54) CONTROLLER FOR ELECTRIC POWER STEERING DEVICE



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a controller for an electric power steering device capable of obtaining continuous and comfortable steering feelings by giving steering auxiliary command values of the electric power steering device by continuous functions.

SOLUTION: In this controller for the electric power steering device in which a motor giving a steering auxiliary force to a steering mechanism is controlled based on steering auxiliary command values computed in a steering auxiliary command value computing part based on steering torque generated in a steering shaft and current control values computed from current values of the motor and which has an inclination at which a gain curve of a characteristic of the whole control system using the steering auxiliary command values as inputs exceeds a predetermined value at least partially, the steering auxiliary command value computing part is constituted by an approximate functional expression of functions in which at least derived functions of a first order are continuous to obtain the steering auxiliary command values by computing based on the approximate functional expression.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

29.08.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項 1】ステアリングシャフトに発生する操舵トルクに基いて操舵補助指令値演算部で演算された操舵補助指令値と、ステアリング機構に操舵補助力を与えるモータの電流値とから演算した電流制御値に基いて前記モータを制御するようになっており、前記操舵補助指令値を入力とする制御系全体の特性のゲイン曲線が所定値を越える傾きを、少なくとも部分的に有している電動パワーステアリング装置の制御装置において、前記操舵補助指令値演算部は少なくとも 1 階の導関数が連続である関数の近似関数式で構成され、前記近似関数式に基づく演算により前記操舵補助指令値を求めるようにしたことを特徴とする電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 2】前記所定値が 10 dB/d ec である請求項 1 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 3】前記近似関数式がスプライン関数である請求項 1 又は 2 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 4】前記近似関数式が 2 次スプライン関数である請求項 1 又は 2 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車や車両の操舵系にモータによる操舵補助力を付与するようにした電動パワーステアリング装置の制御装置に関し、特に操舵補助力を滑らかに与えることにより、快適な操舵性能を与えるようにした電動パワーステアリング装置の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】車両用の電動パワーステアリング装置は、操向ハンドルの操作によりステアリングシャフトに発生する操舵トルクと車速を検出し、その検出信号に基づいて操舵補助指令値を算出し、算出された操舵補助指令値に応じてモータを駆動して操向ハンドルの操舵力を補助するものであり、操舵補助指令値の算出や操舵補助指令値に基づくモータの制御には、マイクロコンピュータを含む電子制御回路が使用されている。

【0003】ここで、操舵トルクについてみると、操向ハンドルの操舵に伴い発生する路面負荷に対応する成分と、ステアリング機構の持つ摩擦力に対応する成分とがある。このため、検出された操舵トルクに基づいて決定された路面負荷に対応した制御値と、ステアリング機構の摩擦力に対応した制御値とを加算して、操舵補助指令値を算出するものが提案されている。

【0004】この制御装置では、操舵トルクに対応した路面負荷制御値と、操舵トルクに対応した摩擦力制御値とが、それぞれ予め決定されてメモリに格納されており、検出された操舵トルクに応じてメモリから所要のデ

ータを読み出し、操舵補助指令値を演算するように構成されている（例えば特公平 5-10271 号公報）。

【0005】かかる従来の操舵補助指令値を演算する制御手段においては、操舵トルクに応じて路面負荷制御値及び摩擦力制御値が予め決定されているため、操舵トルクが決まると操舵補助指令値は車速に対応してのみ変化することになる。

【0006】従って、複数の車速について、操舵トルクに対応する操舵補助指令値を予め設定してメモリに格納しておけば、検出された操舵トルクと車速から直ちに操舵補助指令値を求めることができる。車速と操舵トルクに対応する操舵補助指令値を段階的に設定すれば、メモリ容量を少なくすることができるが、車速や操舵トルクの変化に応じて操舵補助指令値が連続的に変化しないので操舵補助力も滑らかに変化せず、操舵感覚が良くないという欠点がある。

【0007】この対策としては、操舵補助指令値を、車速と操舵トルクに対応して可能な限りきめ細かく設定すれば良いが、この方法では必要なメモリ容量が著しく増大し、コストを増加させる結果となる。

【0008】このため、代表的な車速について、操舵トルクに対応する操舵補助指令値をメモリに記憶させておき、検出された車速がメモリに記憶されている代表的車速の中間にあると判断した時は、検出された車速の前後の代表的車速についての操舵トルクに対応する操舵補助指令値を記憶手段から読み出し、検出された車速との差と車速補正係数に基づいて、検出された車速と操舵トルクに対応する操舵補助指令値を演算する手法が本出願人により提案されている（特開平 8-150954 号）。

【0009】しかしながら、上記代表的な車速について、操舵トルクに対応する操舵補助指令値をメモリに記憶させる方法でも、操舵トルクに対応する操舵補助指令値をきめ細かく設定すると、なお必要なメモリ容量が増大してコストを増加させる結果となる。このほか、操舵補助指令値を変更する場合には、メモリの記憶データを変更しなければならないために時間と手間がかかる問題がある。さらに、問題となる点は、操舵トルクに対応する操舵補助指令値を演算するとき、例えば 8 ビットの有限語長で演算するとき、演算結果（16 ビットとなる）の下位桁（8 ビット）が切り捨てられ、デジタル演算に基づく量子化誤差が発生してしまうことである。このような量子化誤差は、緩やかな操舵を行った際に、運転者に不連続な操舵感覚を与えて望ましくない。

【0010】このため、操舵トルクに対応する操舵補助指令値の少なくとも 3 点において一致する高次の関数式に近似する複数の近似関数式に基づく演算で、操舵補助指令値演算手段を構成する手法が本出願人により提案されている（特開平 10-59203 号）。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記高

次の関数式に近似する複数の近似関数式による演算法は、複数の2次以上の関数を単純に連結した関数であるため、関数の連結部を除いては滑らかな操舵補助指令値を得られるが、連結部では関数の変化率が不連続になり、操舵感覚を悪化させる。さらに、電動パワーステアリング装置の機械系の安定化、減速ギア部のゴムダンパによる振動の安定化、操舵フィーリングの調整の目的などで、制御装置の操舵補助指令部以降に、操舵補助指令値を入力とする制御系全体の特性のゲイン曲線が所定値（例えば10dB/dec）を越える傾きを、少なくとも部分的に有している制御系が使用される。しかしながら、その場合、前述の制御系は微分的な特性を持ち、上述2次以上の関数の連結部で、関数の1階微分が不連続であるために、上記制御系の出力は不連続に近いものとなり、操舵感覚の悪化を助長する結果となる。

【0012】本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、電動パワーステアリング装置の操舵補助指令値を連続的な関数で与えることにより、連続的で快適な操舵感を得るようにした電動パワーステアリング装置の制御装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、ステアリングシャフトに発生する操舵トルクに基いて操舵補助指令値演算部で演算された操舵補助指令値と、ステアリング機構に操舵補助力を与えるモータの電流値とから演算した電流制御値に基いてステアリング機構に操舵補助力を与える前記モータを制御するようになっていると共に、前記操舵補助指令値を入力とする制御系全体の特性のゲイン曲線が所定値を越える傾きを、少なくとも部分的に有している電動パワーステアリング装置の制御装置に関するもので、本発明の上記目的は、前記操舵補助指令値演算部は少なくとも1階の導関数が連続である関数の近似関数式で構成され、前記近似関数式に基づく演算により前記操舵補助指令値を求めることによって達成される。

【0014】また、前記近似関数式をスプライン関数又は2次スプライン関数とすることによって、本発明の上記目的はより効果的に達成される。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明の制御装置によると、少なくともステアリングシャフトに発生する操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、検出された操舵トルクに基づいて操舵補助指令値を演算する操舵補助指令値演算手段と、前記演算された操舵補助指令値に基づいてモータ電流を制御するモータ電流制御手段を備え、操舵トルクに応じた操舵補助力をステアリング機構に与える電動パワーステアリング装置の制御装置において、前記操舵補助指令値演算手段は、少なくとも1階の導関数が連続である関数に近似する演算手段で構成され、前記近似関数式に基づく演算手段により操舵トルクの検出値に対応する操舵補助指令値を演算することを特徴としている。

好ましくは、近似関数式をn次スプライン関数とし、さらに好ましくは近似関数式を2次スプライン関数とするため、操舵トルクの検出値に対応する操舵補助指令値が連続であるだけでなく、少なくとも変化率（1階微分）も連続である。

【0016】そのため、従来の複数の2次以上の関数を単純に連結した関数を用いる手法（特開平10-59203号）に比較して、格段に良好で滑らかな操舵感覚を得ることができるステアリング装置の制御装置を実現できる。

【0017】以下に、本発明の実施例を、図面を参照して説明する。

【0018】図1は、本発明による制御装置の全体構成を示すブロック図である。操舵トルクTは操舵補助指令値演算部100及びセンタ応答性改善部101に入力され、各出力が加算器102に入力され、その加算結果がトルク制御演算部103に入力されている。トルク制御演算部103の出力信号はモータロス電流補償部104に入力され、その出力が加算器105を経て最大電流制限部106に入力され、最大電流値が制限されて電流制御部110に入力される。電流制御部110の出力は、Hブリッジ特性補償部111を経て電流ドライブ回路112に入力され、これによりモータ113を駆動する。

【0019】モータ113のモータ電流iは、モータ電流オフセット補正部120を経てモータ角速度推定部121、電流ドライブ切換部122及び電流制御部110に入力され、モータ端子電圧Vmはモータ角速度推定部121に入力される。モータ角速度推定部121で推定された角速度 ω はモータ角加速度推定部・慣性補償部123、モータロストルク補償部124及びヨーレート推定部125に入力され、ヨーレート推定部125の出力は収れん制御部126に入力され、収れん制御部126及びモータロストルク補償部124の各出力は加算器127で加算され、その加算結果が加算器102に入力される。モータロストルク補償部124はモータ113のロストルクの発生する方向、つまりモータ113の回転方向に対してロストルク相当のアシストを行ない、収れん制御部126は、車両のヨーの収れん性を改善するためにハンドルが振れ回る動作に対してブレーキをかけるようになっている。

【0020】また、ドライバが感じない程度にモータ113を微小振動させるためのディザ信号を発生する電流ディザ信号発生部130が設けられており、電流ディザ信号発生部130及びモータ角加速度推定部・慣性補償部123の各出力が加算器131で加算され、その加算結果が加算器105に入力されている。そして、加算器105での加算結果が最大電流制限部106に入力されている。

【0021】ここにおいて、電動パワーステアリング装置では周波数領域上での設計が可能であるため、トレー

ドオフの問題を図2における相補感度関数の周波数領域上で区別して解決することが可能である（例えば本出願人による特願2000-154284）。つまり、良いステアリングでは不要な外乱は抑圧し、必要な外乱をハンドルに伝えることができる。例えば従来の油圧式パワーステアリングでは、この問題に対してステアリング系の摩擦を調整することで対処しているが、両方を同時に満足させることはできない。これに対し電動パワーステアリングでは、路面からハンドルまでの伝達特性を定義できるので、周波数領域でトレードオフの問題を解決することができる。具体的には、制御系の相補感度関数を抑圧したい外乱が存在する帯域では相補感度関数 T

(s)が“1”に近づくように、伝えたい外乱が存在する領域では相補感度関数 T (s)をゼロに近づけるように設定する。

【0022】相補感度関数は自動車がSAT（セルフアラニングトルク）を発生するまでの伝達特性を単純なばね（ばね乗数 K_v ）を持つものとして計算し、常数ゲインは $K/K_v/\alpha^2$ となる。また、抑圧したい外乱が存在する帯域では、相補感度関数は1に近くなる。そして、相補感度関数を定義する上で、図2を以下のように解釈する。即ち、図2はトーションバーの変位を減少させるように制御を行う制御系という解釈ができ、トーションバーの変位を減らすことは、図2より操舵トルクを減らすことと等価である。従って、 θ_h を目標に θ_b をフィードバックし、制御ゲイン K （トーションバーの剛性）と電動パワーステアリングのコントローラを持つ制御系とみなすことができる。ここで、電動パワーステアリングのコントローラの定常ゲインはアシスト特性の勾配になるので、トルクの小さい領域では定常ゲインはゼロである。トーションバーの剛性とコントローラを合わせて新たなコントローラ C (s)とし、ステアリング系を P (s)とすると、図3のような一般的な制御系に単純化できる。そして、相補感度関数 T (s)は図3に示す式で表わされ、 d (s)はタイヤから入ってくる外乱を示しており、この外乱 d (s)は不要外乱及び自動車の特性と単純なばねとの動特性の差を含んでいる。従って、相補感度関数 T (s)の目的は単純なばねと実際の動特性との差を適度な帯域で伝え、かつ不要外乱を抑圧することになる。

【0023】そこで、路面情報から操舵トルクまでの伝達特性と、操舵角から操舵トルクまでの伝達特性との違いに着目し、不要外乱に対してはモータの慣性を積極的に利用し、操舵したときに感じるモータの慣性はトルク制御系で補償する。図4のゲイン図に、モータの慣性

（高慣性、低慣性）による操舵角から操舵トルクまでの伝達特性の比較を示す。図4に示すモータの周波数応答より、モータの慣性の影響は位相遅れ特性として現れることが明らかであり、モータの慣性の影響は位相遅れ特性の逆特性となる位相進み特性を用いることにより、ト

ルク制御系で補償することができる。図4の位相図の特性Aが補償なしの場合であり、特性Bが補償した場合である。

【0024】路面感度設計を行うに際し、まずは路面情報がトルクセンサによって検出できなくてはならない。即ち、モータが路面情報を阻止するのを防ぐような構成をとった上で、トルク制御系の相補感度関数が、周波数に対する相補感度関数を抑圧したい外乱が存在する帯域では1に近づくようにし、伝えたい外乱が存在する帯域ではゼロに近づくように設計する。タイヤで発生する路面情報は各要素の摩擦分を差し引いた量で伝えられ、モータの慣性は機械的なローパスフィルタとして働くため、慣性が大きいと路面情報が減衰してしまう。相補感度関数の設計は、一般の制御系設計方法等を応用し十分に制御系の安定性を確保した上で、車両に合わせたファインチューニングを行う。

【0025】本発明では上記相補感度関数の設計のために、転がり式ラックアンドピニオン、モータ減速機構のラバードンパ、非接触式トルクセンサ及びトルク制御系を改善している。以下に、これら手法を順次説明する。

【0026】モータが路面情報を阻止するのを防ぐ上で、次の要素(1)～(3)が有効である。即ち、

(1) オブザーバを用いた状態フィードバックによる路面情報に適したモータ特性の定義、(2) メカニカルクラッチ機構採用によるモータとコラム軸のディカップリング、(3) 低摩擦要素の採用、である。このようにして設計した電動パワーステアリング装置の特性例を、油圧式の特性と比較して図5乃至図8に示す。図5はチューニングされた路面感度の測定例であり、太線が感度

(dB)であり、細線が位相(度)を示している。また、図6及び図7はそれぞれベルジアン路を走行したときの操舵トルクの測定例を油圧式と電動式について示しており、油圧式パワーステアリング装置の操舵トルクが変動しているのはサスペンションの振動を検知しているためである。図6及び図7の各(A)図は時間に対する操舵トルクの変動を示しており、各(B)図は0～60Hzの周波数応答を示している。図8(A)は100Km/hで走行したときの油圧式パワーステアリング装置の操舵特性（操舵角度対操舵トルク）の測定例であり、図8(B)は100Km/hで走行したときの電動パワーステアリング装置の操舵特性（操舵角度対操舵トルク）の測定例であり、油圧式パワーステアリング装置の操舵トルクが変動しているのはフラッタによる振動を検知しているためである。

【0027】次に、本発明で使用する転がり式ラックアンドピニオンの機構を図9に示し、その特性を図10に示して従来機構と比較して説明する。即ち、入力軸にはピニオン軸が同軸に装着され、そのピニオン軸がラック軸に噛合されており、ラック軸はローラを介してハウジング内のプレッシャパッド部のピン軸に結合されてい

る。ピン軸はニードル軸受で保持され、摩擦ブロックを経てコイルスプリングに結合されている。コイルスプリングは保持器に収容され、プレッシャパッド部に押圧力を印加するようになっており、保持器はハウジングの内壁との間に懸架されたスプリングによって弾性的に保持されている。なお、かかる転がり式ラックアンドピニオンの詳細は、本出願人による特願平10-335218号に詳述されている。

【0028】本発明の転がり式ラックアンドピニオンはピニオンを支持しているプレッシャパッド部が、ローラ、摩擦ブロック、ニードル軸受、保持器等で構成されているため、高支持剛性と低作動抵抗を両立できる。特に、図11に示す従来の滑り式ラックアンドピニオンの機構と比較すると、図10の特性図から分るようにプレッシャパッド部に摩擦ブロックが配設されていることにより、ラック推力が低い領域での逆入力が高いことが特徴で、高速走行で重要な微小舵角領域での路面情報改善に役立つ。図11に示す従来の機構（摩擦ブロックなし）では、プレッシャパッド部に摩擦ブロック等がないため、ラック推力が低い領域で逆入力が高くなっている。

【0029】次に、本発明によるモータ減速ギア部におけるラバーダンパについて説明する。

【0030】電動パワーステアリング装置では図12に示すように、モータ減速ギアのウォーム軸支持部に、ギアのラトル音の低減のために、ラバーダンパ（ゴム）をブッシュを介してスプライン部に挿入している。一方、ゴムの弾性域では、モータの変位とコラム軸の変位とが独立して作動可能であるため、モータの摩擦及び慣性に阻止されることなく路面情報をハンドル軸に伝えることができる。

【0031】ラバーダンパを装着しない場合の周波数特性は図13に示すようになり、ラバーダンパを装着すると図14に示すような周波数特性となり、ノイズレベルが減少することが分る。

【0032】次に、電動パワーステアリングに使用するトルクセンサの改良について説明する。

【0033】トルクセンサの検出特性のヒステリシス特性は、微小トルクにおいては遅れ特性として見えてくるため、なるべく小さく抑える必要がある。この目的から、本発明では、図15及び図16に示すようなヒステリシス幅の小さい非接触式トルクセンサを使用する。即ち、図15は非接触式トルクセンサのステアリングホイール軸への配設構造を示しており、図16はセンサ部の構造を一部断面の斜視図で示している。SUS、Fe等の磁性材で成る入力軸（センサシャフト）の外周部には、検出回路ユニットを形成するロビンヨークがスリーブ上に配設されており、ロビンヨーク内には2組のコイルが巻回されている。スリーブは導電性の非磁性材（例えばアルミニウム）で成り、円環状のコイル列に沿って

窓が形成されており、入力軸の内部にはトーションバーが配設されている。

【0034】このような構成において、スリーブの導電性及び非磁性と入力軸の磁性を利用して、入力軸に対するトルクを非接触で検出する。即ち、表皮効果を利用してスリーブ内側に周方向に周期的な磁界の緻密状態を作り出し、その磁界と入力軸のスプラインの位相差によって入力軸の自発磁化を増減させ、それにより生じるインピーダンス変化を、コイル等で形成されたブリッジ回路によりコイル端電圧変化として検出するようになっている。

【0035】次に、電気制御系の設計について説明する。

【0036】路面情報の感度設計を実現する上で、電流制御の応答性も重要な要素である。特に電流が流れ始めるあたりの応答性は、中立付近の操舵性を改善する上でできるだけ線形化することが望ましい。線形化に際し、従来のようなPI制御器をベースにした電流制御の代わりに、規範モデルをベースにしたロバスト制御を採用することにより、電流制御の線形化を行っている。

【0037】本発明では図1による制御系を用いており、先ずセンタ応答性改善部101を図17に示すように、位相補償部101A、近似微分部101B及びゲイン設定部101Cで構成とし、位相補償部101Aを図18に示す周波数特性とし、近似微分部101Bを図19に示す周波数特性とする。これにより、位相補償と近似微分との合成特性は図20に示すようになる。また、ゲイン設定部101Cでは、車速V及び操舵トルクTによってゲインを図21のように切り換えて設定する。更に、ハンドルが急に戻されるような不安な操舵感を低減し、保舵を安定させるため、操舵トルク大で、かつ操舵トルク変化率大とし、操舵トルク減少方向の場合にゲインを小さくする。即ち、切り換え条件は、 $|\text{操舵トルク}| (=A) > \text{約} 1.37 \text{ Nm}$ 、かつ $|\text{操舵トルク} - \text{操舵トルク} (1 \text{ サンプリング前})| (=B) > \text{約} 0.137 \text{ Nm}$ 、かつ $\text{sign}(A) < \text{sign}(B)$ である。切り換え後のゲインは例えば、車速0~2で“46”、車速4~78で“47”、車速80以上で“41”である。なお、 $\text{sign}(A) < \text{sign}(B)$ は、 $A = \text{操舵トルク}$ と、 $B = \text{操舵トルク} - \text{操舵トルク} (1 \text{ サンプリング前})$ の符号が異なることを意味している。

【0038】また、本発明では操舵補助指令値演算部100におけるアシスト量の計算において、3つの代表車速（0、30、254 Km/h）によるアシスト特性を基本特性として設定し、その他の車速では車速補間ゲインに応じて各基本特性間を車速2 Km/h毎の補間を行う。そして、アシスト特性の車速設定範囲0~254 Km/h、分解能2 Km/hとする。基本アシスト特性（トルク対電流）は図22に示すものであり、0 Km/h = 1 a 特性、30 Km/h = 1 a 特性、254 Km/h = 1 o 特性、

$h = 1b$ 特性で表わされている。そして、その他の車速についての車速補間演算は、図23で示す車速 (Km/h) 対車速補間係数 γ で $2Km/h$ 毎に行う。車速 $0 \sim 30Km/h$ のとき、アシスト電流 I は $I = 1a(T) + \gamma(V)(10(T) - 1a(T))$ であり、車速 $32 \sim 254Km/h$ のとき、アシスト電流 I は $I = 1b(T) + \gamma(V)(1a(T) - 1b(T))$ である。

【0039】更に、本発明ではトルク制御演算部103として電動パワーステアリング装置の機械系の安定化、減速ギア部ゴムダンパによる振動の安定化、操舵フィードリングの調整のため、操舵トルク応答を設定するようにしている。その構成は図24に示すようになっており、クランプ回路103Aの後段に応答性定義部103Bが設けられ、その後段にクランプ回路103Cを経てロバスト安定化補償部103Dが設置されている。そして、ロバスト安定化補償部103Dの後段にクランプ回路103Eを経て位相補償部103Fが設けられ、更にクランプ回路103Gを経てロバスト安定化補償部103Hが設置されている。

【0040】ロバスト安定化補償部103Hの特性は図25に示すものであり、制御系全体の特性を図26のようにする。図26から明らかなように、制御系全体の特性のゲイン曲線は10dB/decを越える傾きを、少なくとも部分的に有している。機械系の特性が図27に示すようになっているため、総合的には山部と谷部が相殺されて、ほぼ平坦な特性となる。

【0041】1. 第1実施例：図28の線aは操舵補助指令値演算部100の特性を示しており、操舵トルクTに対応する所望の操舵補助指令値Iの関係を示す特性曲線である。所望の特性曲線aから数点（例えば4点($b1, b2, b3, b4$))を抽出し、これら4点 $b1, b2, b3, b4$ の間を少なくとも1階の導関数が連続である関数（例えばスプライン関数や2次スプライン関数）で補間することにより、数値演算することで操舵トルクTに対応する操舵補助指令値Iを求めることができる。なお、スプライン関数は、小区間内で各々定義された多項式曲線が互いに見えるだけ滑らかに繋がっているようなものであり、この場合、全区間で単一の多項式になるという条件は必要ではない。 m 次のスプライン関数は、その m 階微分が階段関数で、 $(m-1)$ 階以下の微分が連続であるような関数である。

【0042】図28の特性曲線a上から抽出したデータ点($b1, b2, b3, b4$) = ($x1, y1$) ($x2, y2$) ($x3, y3$) ($x4, y4$)に基づき、例えば2次スプライン関数（左端点で1階微分が0とした）により補間された操舵トルクTと操舵補助指令値Iとの関係は、データ点の間を補間する3本の2次曲線($l1, l2, l3$)として、下記数1のように表される。

【0043】

$$【数1】 l1 = y1 + a1*(x-x1) + b1*(x-x1)^2$$

$$l2 = y2 + a2*(x-x2) + b2*(x-x2)^2$$

$$l3 = y3 + a3*(x-x3) + b3*(x-x3)^2$$

ここで、数1の係数 $a1, a2, a3, b1, b2, b3$ はそれぞれ下記数2の通りである。

【0044】

$$【数2】 a1 = 0$$

$$b1 = (y2-y1-a1*(x2-x1))/(x2-x1)^2$$

$$a2 = a1 + 2*b1*(x2-x1)$$

$$b2 = (y3-y2-a2*(x3-x2))/(x3-x2)^2$$

$$10 \quad a3 = a2 + 2*b2*(x3-x2)$$

$$b3 = (y4-y3-a3*(x4-x3))/(x4-x3)^2$$

検出された操舵トルクTに応じて該当区間の近似式を選択し、選択された近似式に基づいて検出操舵トルクTに対応する操舵補助指令値Iを演算すれば、操舵補助指令値Iの演算を高速かつ容易に行うことができる。

【0045】ここで、数1で示される2次曲線 $l1, l2, l3$ の1階微分は、それぞれ下記数3の通りである。

【0046】

$$【数3】 l1' = a1 + 2*b1*(x-x1)$$

$$20 \quad l2' = a2 + 2*b2*(x-x2)$$

$$l3' = a3 + 2*b3*(x-x3)$$

当然ながら、連結点($b2, b3$) = ($x2, y2$) ($x3, y3$)においても1階微分は連続である。

【0047】

【数4】 ($x2, y2$)において

$$l1' = a1 + 2*b1*(x2-x1), \quad l2 = a2$$

($x3, y3$)において

$$l2' = a2 + 2*b2*(x3-x2), \quad l3 = a3$$

即ち、操舵トルクTの検出値に対応する操舵補助指令値Iが連続であるだけでなく、少なくとも変化率（1階微分）も連続であることから、従来の複数の2次以上の関数を単純に連結した関数を用いる手法と比較して、格段に良好で滑らかな操舵感覚を得ることができるステアリング装置の制御装置を実現できる。

【0048】本実施例では、所望の特性曲線から抽出した点を補間する関数として、例として2次スプライン関数を用いているが、少なくとも1階の導関数が連続である関数であれば同様の効果があり、例えば3次スプライン関数やLagrangeの公式による多項式を用いても良い。ただし、Lagrangeの公式を用いた場合、 n 個のデータ点を用いると $(n-1)$ 次の多項式になるため、演算コストの増大や、固定小数点演算手段を用いた場合の量子化誤差の増大といった問題がある。このため、比較的低い次数の多項式を用いるにもかかわらず、滑らかで良い近似を与えることができるスプライン関数を用いる方が好ましい。さらに、演算時間の短縮やメモリの節約のためにも、2次スプライン関数を用いる方が好ましい。

【0049】2. 第2実施例：図28の操舵トルクTに対応する所望の操舵補助指令値Iの関数を示す特性曲線aから抽出したデータ点($b1, b2, b3, b4$) = (x

1, y 1) (x 2, y 2) (x 3, y 3) (x 4, y 4)
が、例えば下記数 5 である場合について説明する。

【0050】

【数 5】 $b1 = (x1, y1) = (1, 0)$

$b2 = (x2, y2) = (2, 5)$

$b3 = (x3, y3) = (4, 30)$

$b4 = (x4, y4) = (5, 70)$

(1) 従来(特開平 10-59203 号)は、操舵補助指令値演算手段を、高次の関数式で定義される操舵トルクに対応する操舵補助指令値の少なくとも 3 点において一致する高次の関数式に近似する複数の近似関数式に基づく演算手段で構成している。例えば点 $b1$, $b2$, $b3$ を通過する 2 次関数を $c1$ 、点 $b2$, $b3$, $b4$ を通過する 2 次関数を $c2$ とすれば、2 次関数 $c1$ 及び $c2$ はそれぞれ下記数 6 となる。

【0051】

【数 6】 $c1 = 2.5x^2 - 2.5x$

$c2 = 9.1667x^2 - 42.5x + 53.33$

そして、2 次関数 $c1$ 及び $c2$ は図 29 の特性曲線のようにになる。ここで、例えば点 $b1$ から点 $b2$ を経て点 $b3$ までは曲線 $c1$ を採用し、点 $b3$ から点 $b4$ までは曲線 $c2$ を採用した場合、操舵トルク T と操舵補助指令値 I との関係は実線で示すような関係になる。

【0052】ここで、2 次関数 $c1$ 及び $c2$ の 1 階微分 $c1'$ 及び $c2'$ は、数 6 よりそれぞれ下記数 7 となる。

【0053】

【数 7】 $c1' = 5x - 2.5$

$c2' = 18.333x - 42.5$

そして、1 階微分 $c1'$ 及び $c2'$ の特性曲線は図 30 のようになる。そして、点 $b1$ から点 $b3$ までは曲線 $c1$ を採用し、点 $b3$ から点 $b4$ までは曲線 $c2$ を採用したので、当然微分値も点 $b1$ から $b3$ までは曲線 $c1'$ 、点 $b3$ から $b4$ までは曲線 $c2'$ となる。

【0054】図 30 の特性曲線から明らかなように、操舵補助指令値 I の操舵トルク T に対する 1 階微分値が、点 $b3$ において不連続である。この不連続性が操舵感覚を悪化させる。さらに、電動パワーステアリング装置の機械系の安定化、減速ギア部のゴムダンパによる振動の安定化、操舵フィーリングの調整の目的などで、制御装置の操舵補助指令値演算部以降に、操舵補助指令値を入力とする制御系全体の特性のゲイン曲線が所定値(例えば 10 dB/dec)を越える傾きを、少なくとも部分的に有している制御系が使用されるが、その場合、上記制御系は微分的な特性を持ち、2 次以上の関数の連結部で関数の 1 階微分が不連続であるために、上記制御系の出力は不連続に近いものとなり、操舵感覚の悪化を助長する結果となる。

【0055】(2) 本発明によると、例えば第 1 実施例に従うと、図 28 の操舵トルク T に対応する所望の操舵補助指令値 I の関数を示す特性曲線 a から抽出したデー

タ点 ($b1$, $b2$, $b3$, $b4$) の間を補間する 3 本の 2 次曲線 $d1$, $d2$, $d3$ は、下記数 8 のように表される。

【0056】

【数 8】 $d1 = 5(x-1)^2$

$d2 = 5 + 10(x-2) + 1.25(x-2)^2$

$d3 = 30 + 15(x-4) + 25(x-4)^2$

図 31 に 2 次曲線 $d1$, $d2$, $d3$ を示す。検出された操舵トルク T に応じて該当区間の近似式を選択し、選択された近似式に基づいて検出操舵トルクに対応する操舵補助指令値を演算すれば、演算を高速かつ容易に行うことができる。

【0057】ここで、2 次曲線 $d1$, $d2$, $d3$ の 1 階微分 $d1'$, $d2'$, $d3'$ は、数 8 よりそれぞれ下記数 9 の通りになる。

【0058】

【数 9】 $d1' = 10(x-1)$

$d2' = 10 + 2.5(x-2)$

$d3' = 15 + 50(x-4)$

図 32 にこれら 1 階微分 $d1'$, $d2'$, $d3'$ の曲線を示す。当然ながら、連結点 ($b2$, $b3$) = ($x = 2$, $x = 4$) において 1 階微分は連続である。即ち、操舵トルク T の検出値に対応する操舵補助指令値 I が連続であるだけでなく、少なくとも変化率(1 階微分)も連続であることから、従来の複数の 2 次以上の関数を単純に連結した関数を用いる手法に比較して、格段に良好で滑らかな操舵感覚を得ることが出来るステアリング装置の制御装置を実現できる。

【0059】本発明の特徴は、電動パワーステアリング装置の制御装置の操舵補助指令値演算部であり、操舵補助指令値演算部以外の電動パワーステアリング装置の制御装置に関しては、既に本出願人により提案されており(特願平 8-234648 号)、また、本発明の目的ではないからここではその詳細な説明は省略する。

【0060】

【発明の効果】上述したように、本発明の電動パワーステアリング装置の制御装置では、操舵トルクに対応する操舵補助指令値が、少なくとも 1 階の導関数が連続である(1 次連続性が保証される)関数に近似する演算手段から生成され、近似関数式に基づく演算手段により操舵トルクの検出値に対応する操舵補助指令値を演算することを特徴とし、好ましくは近似関数式を 2 次以上のスプライン関数とし、さらに好ましくは近似関数式を 2 次スプライン関数としている。このため、操舵トルクの検出値に対応する操舵補助指令値をメモリに記憶させるもののように、著しく大容量のメモリを必要とすることなく、さらに、操舵トルクの検出値に対応する操舵補助指令値を多項式を単純に連結させたものののように、1 階微分の不連続性による操舵感覚の悪化を招くことのない操舵トルクに対応した適切な操舵補助指令値を得ることが

13

でき、格段に円滑な操舵感覚の電動パワーステアリング装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の構成例を示すブロック図である。

【図 2】コントロールユニットの伝達関数を示すブロック線図である。

【図 3】図 2 の単純化ブロック構成図である。

【図 4】モータ特性を示す周波数応答図である。

【図 5】路面入力から操舵トルクまでの伝達特性のチューニング例を示す図である。

【図 6】ベルジャン路を走行したときの操舵トルクの測定例（油圧式）を示す図である。

【図 7】ベルジャン路を走行したときの操舵トルクの測定例（電動式）を示す図である。

【図 8】100 Km/h で走行したときの操舵特性例を示す図である。

【図 9】本発明で使用する転がり式ラックアンドピニオンの機構図である。

【図 10】図 7 の機構の特性例を従来装置と比較して示す図である。

【図 11】従来の転がり式ラックアンドピニオンの機構図である

【図 12】モータ減速ギアのウォーム軸支持部の機構図である。

【図 13】ウォーム軸支持部にゴムを装着しない場合の特性を示す図である。

【図 14】ウォーム軸支持部にゴムを装着した場合の特性を示す図である。

【図 15】本発明で使用するトルクセンサの断面機構図である。

【図 16】本発明で使用するトルクセンサの斜視図である。

14

【図 17】センタ応答改善部のブロック構成図である。

【図 18】位相補償部の特性例を示す図である。

【図 19】近似微分部の特性例を示す図である。

【図 20】位相補償部及び近似微分部の合成特性を示す図である。

【図 21】車速及び操舵トルクによるゲインの設定例を示す図である。

【図 22】基本アシスト特性を示す図である。

【図 23】車速補間演算の一例を示す図である。

10 【図 24】トルク制御演算の構成例を示すブロック図である。

【図 25】ロバスト安定化補償の特性例を示す図である。

【図 26】制御系の特性例を示す図である。

【図 27】機械系の特性例を示す図である。

【図 28】本発明を説明するための特性図である。

【図 29】本発明を説明するための特性図である。

【図 30】本発明を説明するための特性図である。

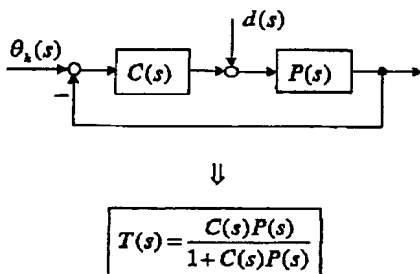
【図 31】本発明を説明するための特性図である。

20 【図 32】本発明を説明するための特性図である。

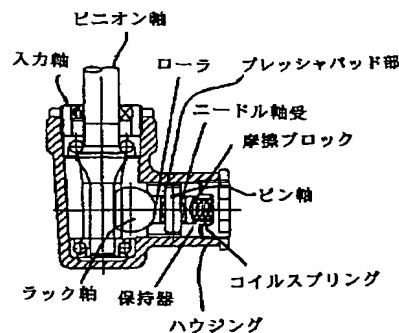
【符号の説明】

100	操舵補助指令値演算部
101	センタ応答性改善部
103	トルク制御演算部
104	モータロス電流補償部
106	最大電流制限部
110	電流制御部
113	モータ
121	モータ角速度推定部
30 125	ヨーレート推定部
130	ディザ信号発生部

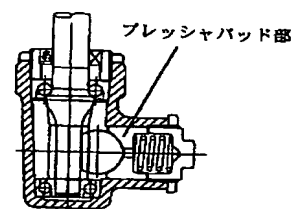
【図 3】



【図 9】

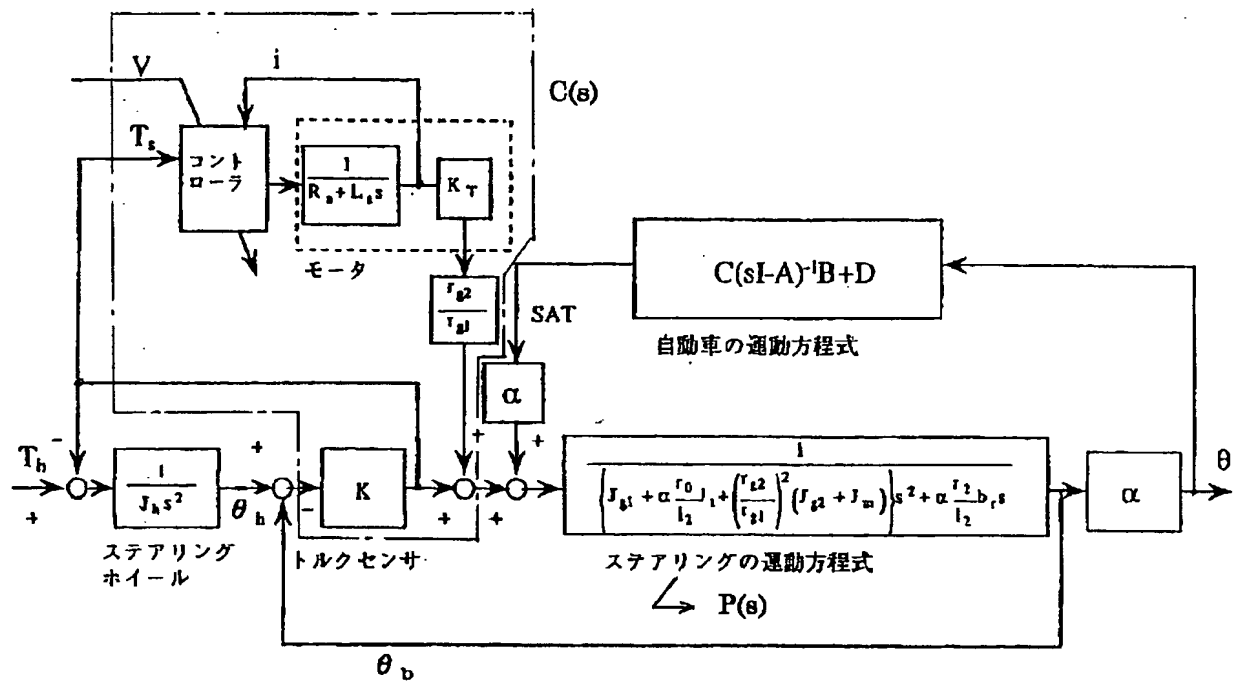


【図 11】

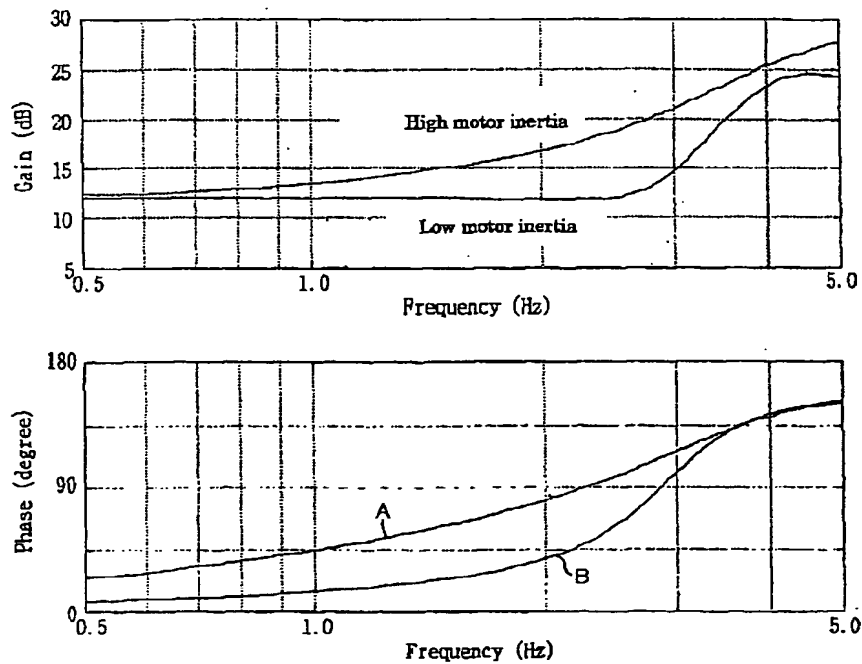


[illegible]

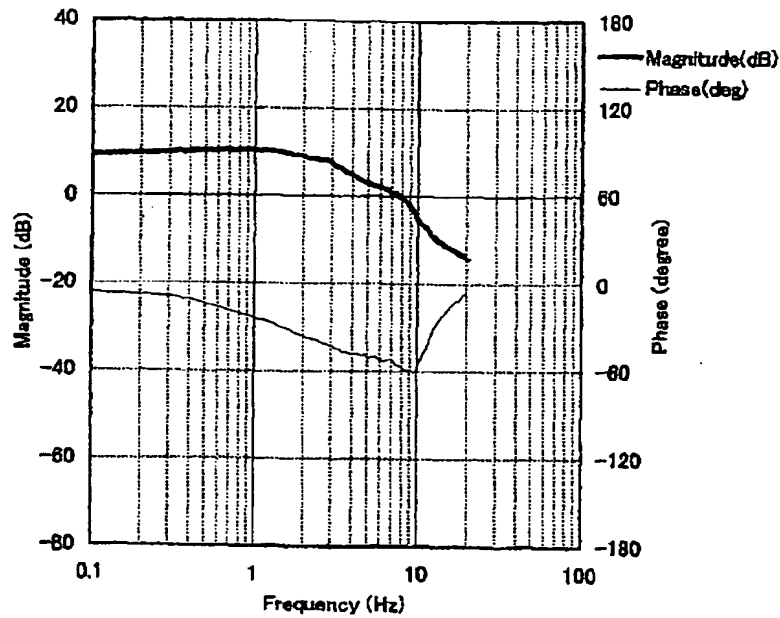
【図 2】



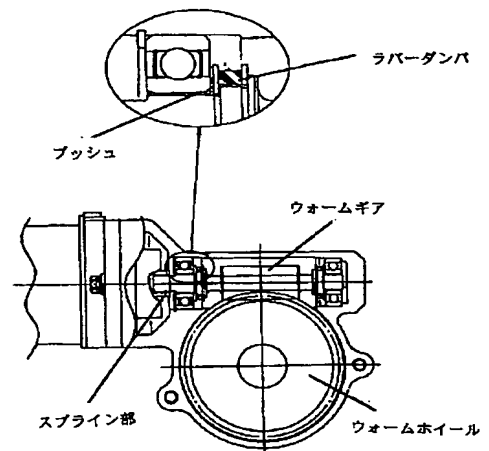
【図 4】



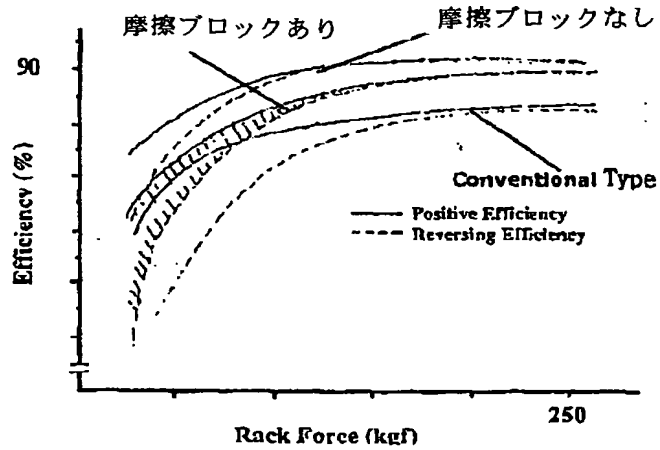
【図5】



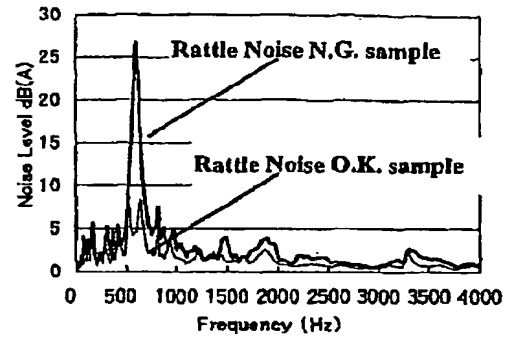
【図12】



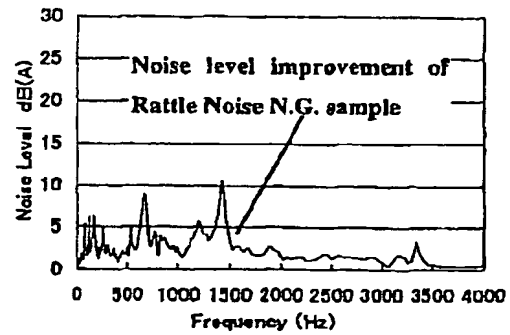
【図10】



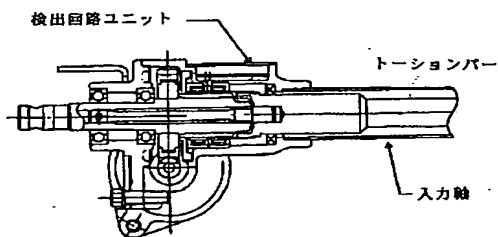
【図13】



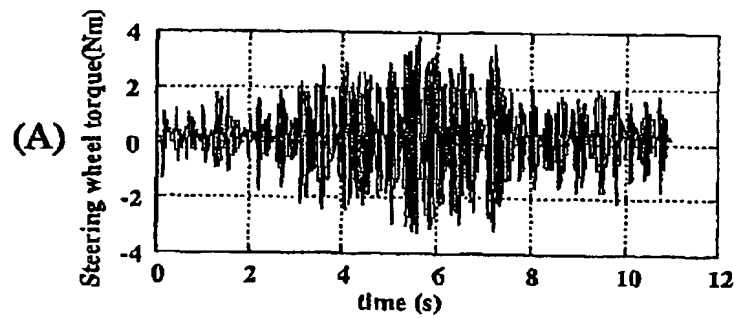
【図14】



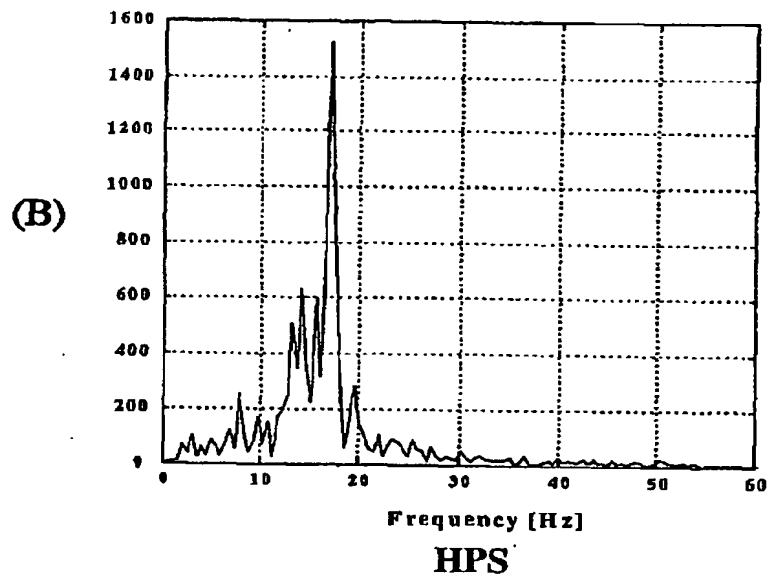
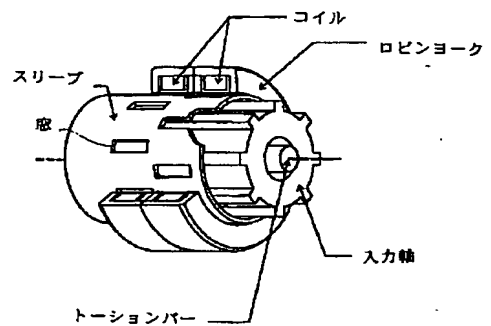
【図15】



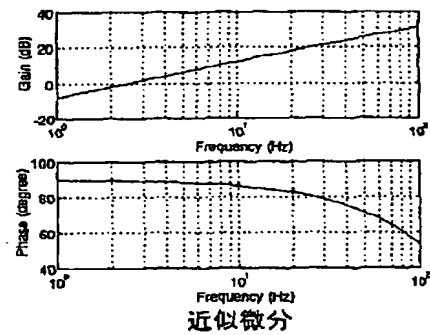
【図6】



【図16】



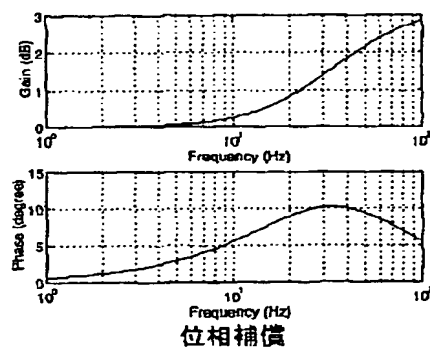
【図19】



【図17】



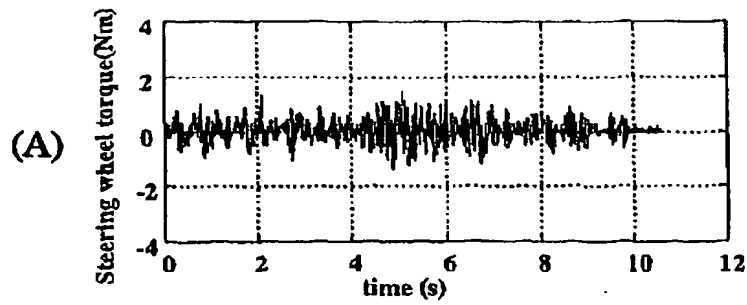
【図18】



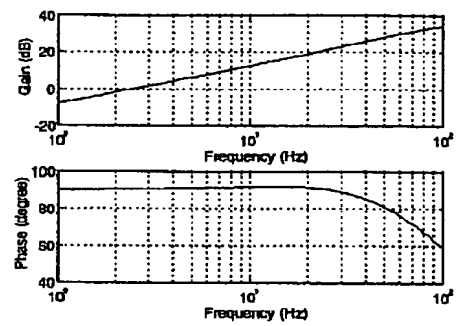
【図21】

車速(km/h)	ゲイン		高低シキイ値
	低操舵トルク	高操舵トルク	
0~2	48	48	約 5.5Nm
4~78	52	52	約 4.1Nm
80~	48	45	約 2.5Nm

【図 7】

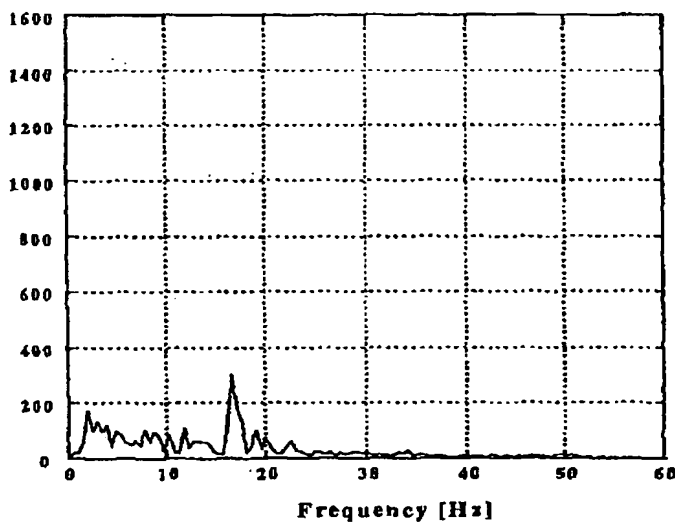


【図 20】



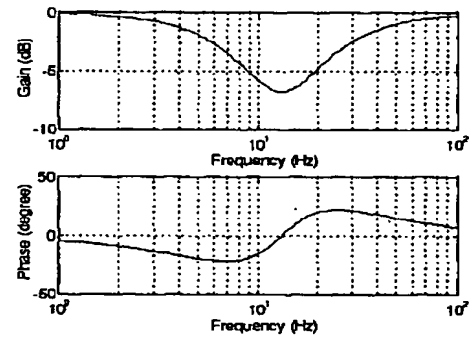
近似微分+位相進み

(B)

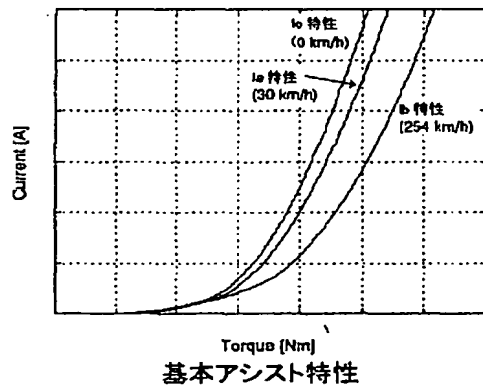


EPAS

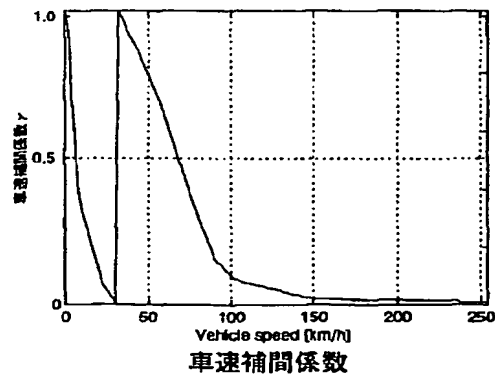
【図 25】



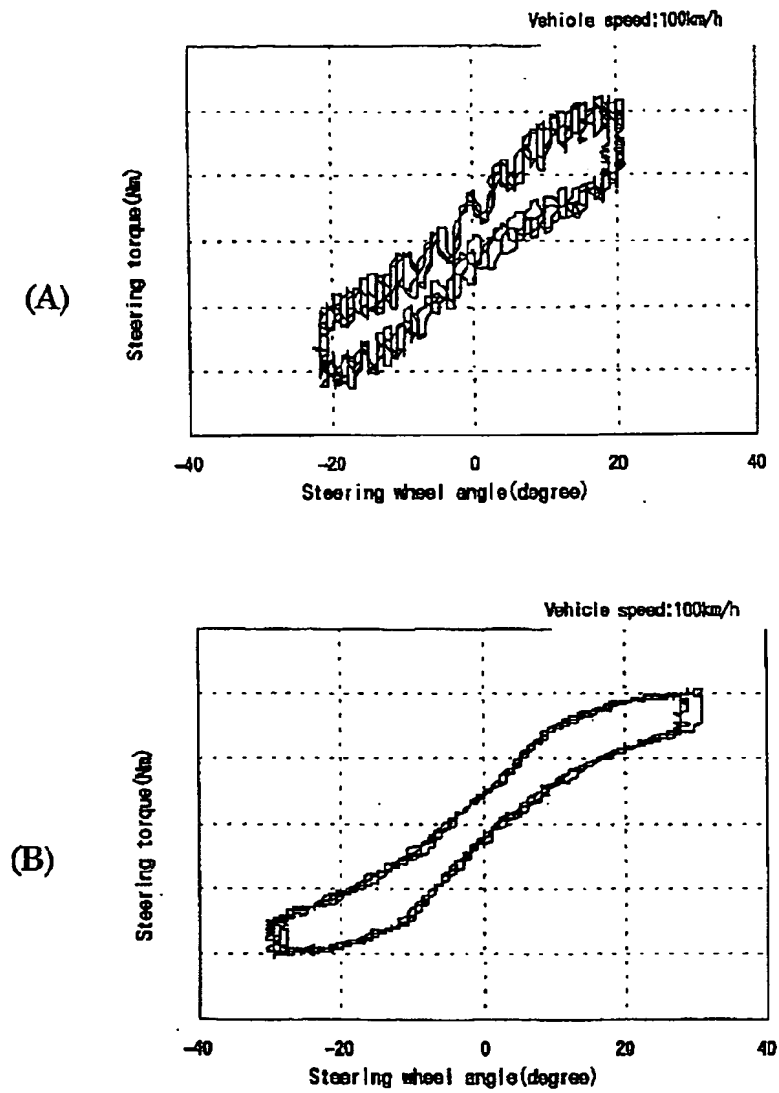
【図 22】



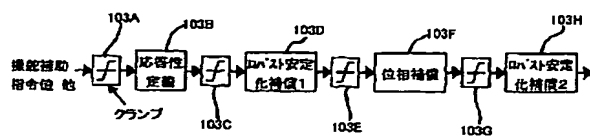
【図 23】



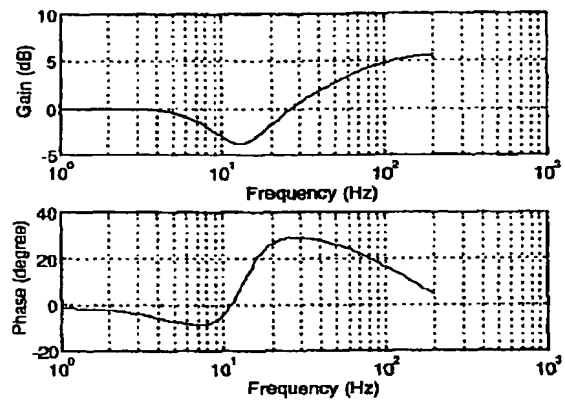
【図8】



【図24】

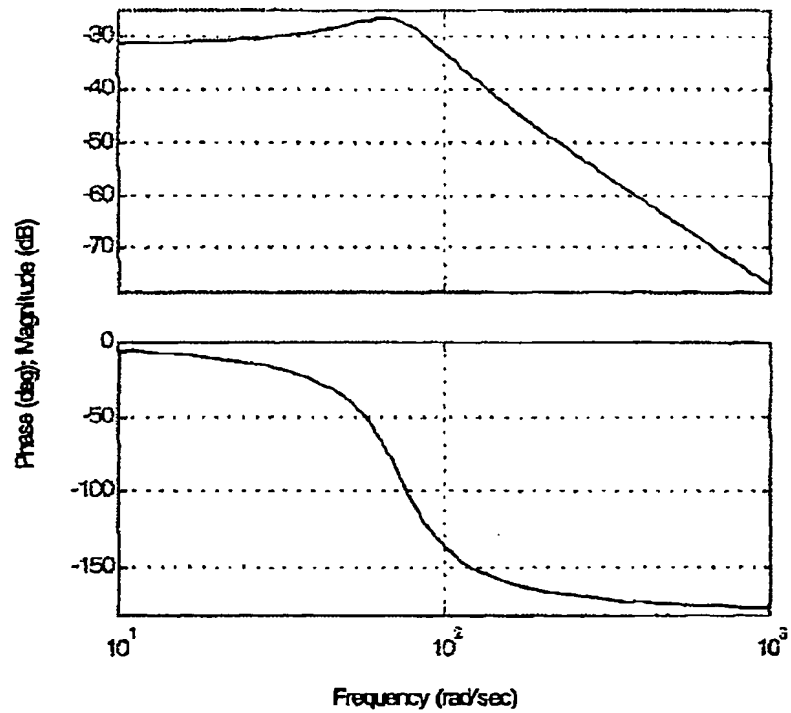


【図 26】

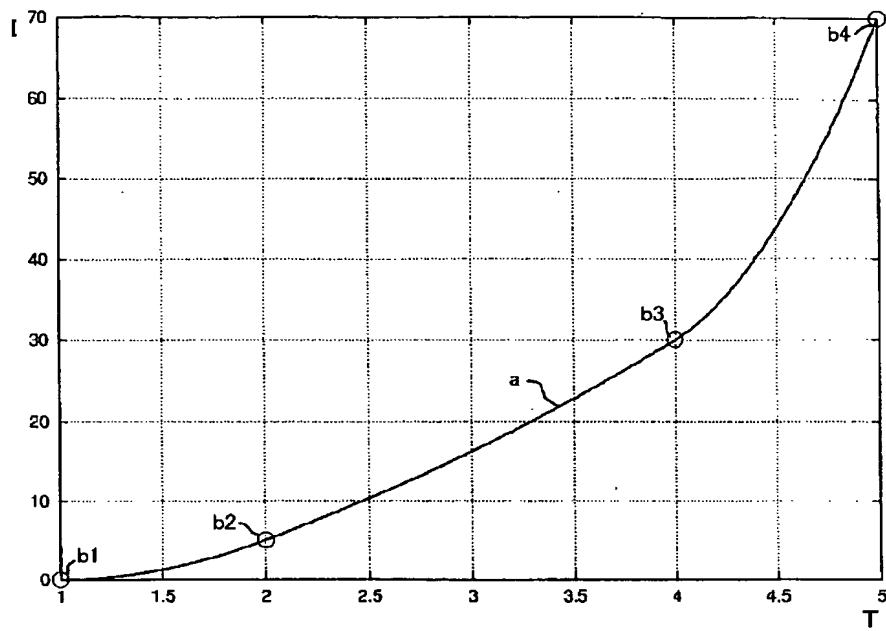


【図 27】

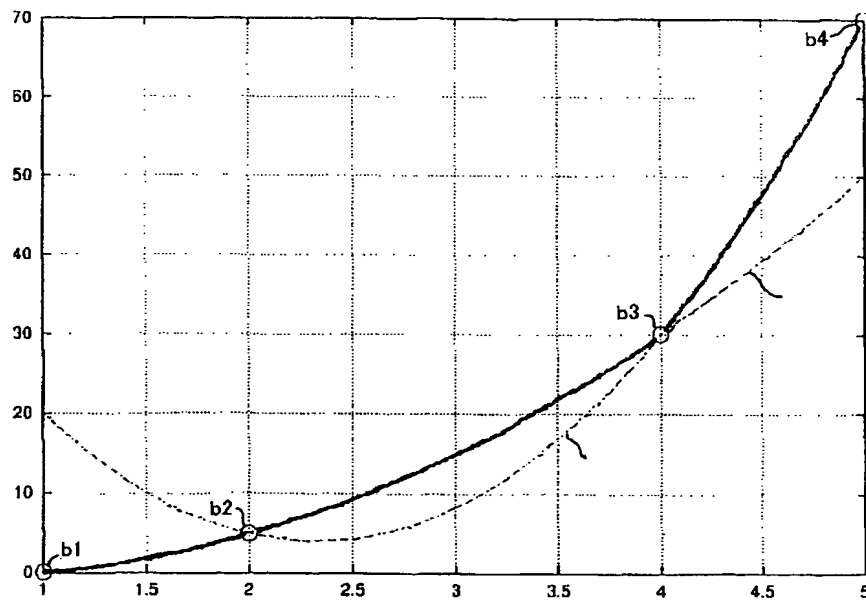
Bode Diagrams



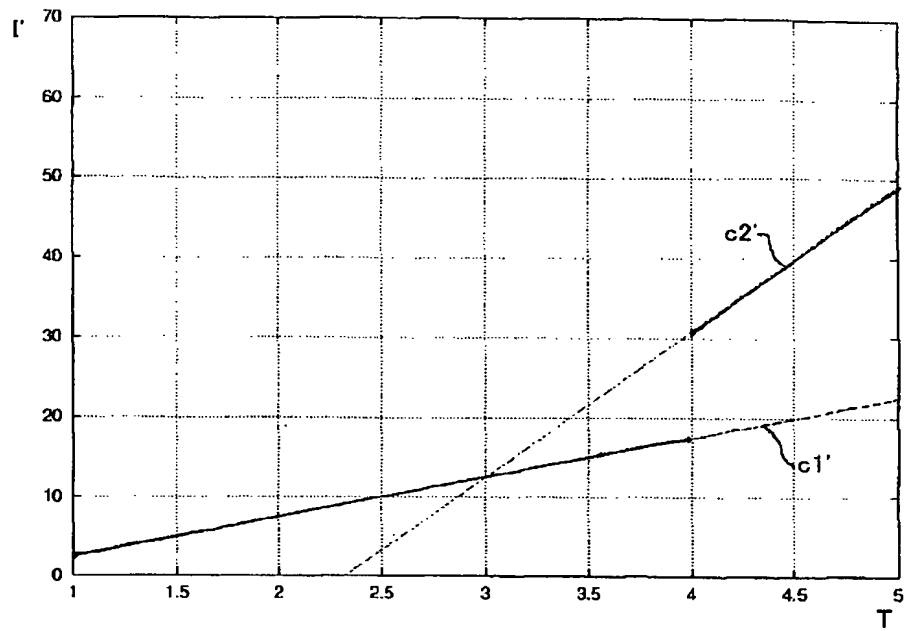
【図 28】



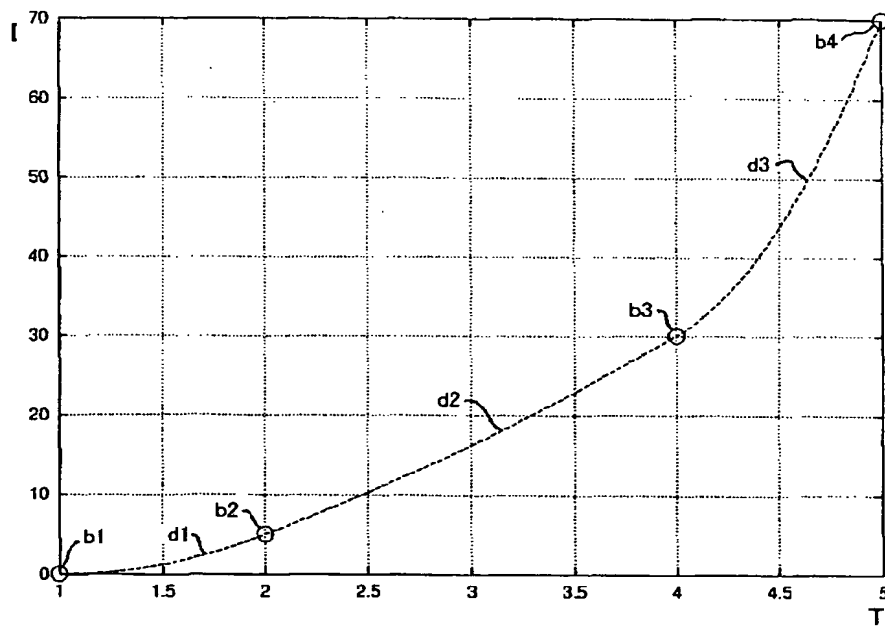
【図 29】



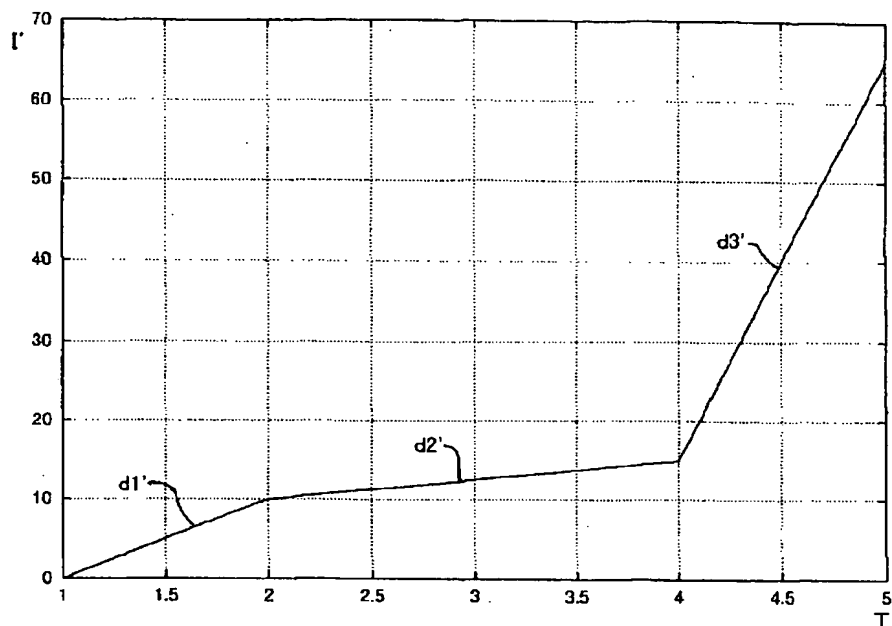
【図 30】



【図 31】



【図 32】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

B 6 2 D 101:00

119:00

137:00

識別記号

F I

B 6 2 D 101:00

119:00

137:00

ターム (参考)

F ターム (参考) 2F051 AA01 AB05 BA03

3D032 CC04 CC08 DA15 DA23 DA33

DA63 DA64 DA65 DB11 DD02

EB11 EC22 GG01

3D033 CA03 CA04 CA16 CA20 CA21

CA28